Lane Medical Library 1931

Das Katathermometer in der Gewerbehygiene mit besonderer Berücksichtigung des Kalibergbaus.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät der
Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Hermann Lauenstein
approb. Arzt aus Schoningen.

Göttingen 1931.

Druck der Göttinger Handelsdruckerei.

Gedruckt mit Genehmigung
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen.

Dekan: Prof. Georg B. Gruber.
Referent: Professor Reichenbach.

Tag der mündlichen Prüfung: 24. Februar 1931.

Über die klimatischen Verhältnisse und ihre Einwirkung auf den Menschen sind besonders in den letzten Jahren zahlreiche Arbeiten erschienen. Einen ganz wesentlichen Anteil an den Untersuchungen hat die Bergbau-Industrie. Die Regelung der Länge der Arbeitszeit an warmen Betriebspunkten wurde bisher nur nach der Höhe der Temperatur beurteilt. Die bergpolizeilichen Vorschriften für Preußen sind von den einzelnen Bergbauämtern geregelt. Das Oberbergbauamt Breslau beispielsweise schreibt in § 218 seiner Bergbaupolizeiordnung vor, daß beim unterirdischen Grubenbetriebe Arbeiter in einer Temperatur von 30^0 und darüber an einem Arbeitstage nicht länger als 6 Stunden beschäftigt werden dürfen. Dieser Regelung haben sich auch viele andere Bergämter, z. B. Halle und Claustal, angeschlossen.

Man war sich aber schon seit langem klar darüber, daß diese Regelung der Arbeitszeit nach der Höhe der Temperatur nur ein Notbehelf sei, weil zu vermuten war, daß auch der Wetterbewegung und der Luftfeuchtigkeit eine große Bedeutung für die Entwärmung zukomme. Während Reichenbach und Heymann schon im Jahre 1905 in oberschlesischen Steinkohlengruben und Saargruben, in denen eine sehr große Luftfeuchtigkeit vorherrschte, die meist zwischen 91% und 100% gefunden wurde, Untersuchungen über die klimatischen Einwirkungen auf die Bergarbeiter ausführten, wurden später von Rosenthal sowie von Liefmann und Klostermann in Kaligruben Untersuchungen vorgenommen, wo eine solche hohe Luftfeuchtigkeit nicht anzutreffen war. Rosenthal machte die Erfahrung, daß sogar bei den die normale Körpertemperatur übersteigenden Wärmegraden die hohe Temperaturnicht als ungünstig empfunden wurde, wenn eine außerordentliche Trockenheit der Luft herrschte und infolgedessen eine lebhafte Schweißverdunstung möglich war, und in dem Mangel der Klagen der Arbeiter sah er auch den Beweis, daß die Meinung, ein längerer Aufenthalt in trockener Luft sei unzuträglich, nicht allgemein begründet sein kann. Er maß regelmäßig bei den Arbeitern Puls und Temperatur, weil er hoffte, in der Veränderung dieser beiden einen objektiven Anhaltspunkte für das Befinden der Bergleute zu finden; aber nur in seltenen Fällen konnte er eine Steigerung der Körpertemperatur feststellen und die Pulsfrequenz war so wechselnd, daß man daraus keine eindeutigen Schlüsse ziehen konnte.

Alle diese älteren Untersuchungen kommen übereinstimmend zu dem Ergebnis, daß für die gesundheitliche Beurteilung des Grubenklimas die Temperatur allein nicht ausschlaggebend ist, sondern daß auch die Luftbewegung und der Wasserdampfgehalt der Luft von entscheidendem Einfluß sein können. So waren dieselben Temperaturen, die in den oberschlesischen Bergwerken mit ihrer durch die große Mächtigkeit der Flöze bedingten geringen Wettergeschwindigkeit sehr lästig waren, in den Saargruben noch durchaus erträglich, weil hier eine viel lebhaftere Luftbewegung herrschte. Und in den Kalibergwerken, die sich durch die Trockenheit der Luft von den untersuchten Kohlengruben unterscheiden, wurden ebenfalls viel höhere Temperaturen ohne Beschwerden ertragen. Wenn man also zu einer sicheren Beurteilung des Grubenklimas kommen wollte, so galt es, einen Wert zu finden, der, wenn möglich, den Einfluß dieser drei Größen auf die Entwärmung in physikalischer und physiologischer Hinsicht zusammenfaßte.

Zum ersten Mal scharf umschrieben ist dieses Problem von Flügge, allerdings nicht mit Rücksicht auf gewerbehygienische, sondern allgemein klimatologische Überlegungen. Es ist das in seiner klimatologischen Bedeutung längst nicht genug gewürdigte Verdienst der Flüggeschen Schule, für die gemeinsame abkühlende Wirkung von Temperaturdifferenz und Windgeschwindigkeit das mathematische Gesetz gefunden zu haben: die Abkühlung ist proportional der Temperaturdifferenz und der Wurzel aus der Windgeschwindigkeit. Erst die Auffindung dies Gesetzes ermöglichte es uns, worauf besonders Reichenbach aufmerksam gemacht hat, die Wirkung schwacher Luftströme zu verstehen.

Die erste meßtechnische Möglichkeit, die Abkühlung durch Lufttemperatur und Windbewegung gleichzeitig zu messen, war der Apparat von Frankenhäuser, der eigens zur Messung der Abkühlungsgröße durch Windbewegung und Lufttemperatur konstruiert worden ist. Es handelt sich um ein zylindrisches Gefäß aus Kupferblech von 100 ccm Inhalt und 100 qcm Oberfläche. Dieses wird mit Wasser gefüllt und auf 38^0 erwärmt und dann wird die Abkühlung während einer bestimmten Zeit beobachtet. Dieses sogenannte Homöotherm hat eine sehr große Ähnlichkeit mit dem von Krieger schon im Jahre 1869 konstruierten Apparat; jedoch verfolgte Krieger dabei ganz andere Zwecke und es gebührt ausschließlich Frankenhäuser das Verdienst, das Homöotherm eigens für die Messung der Abkühlungsgröße konstruiert zu haben. Es ist nicht ganz leicht, zu sagen, warum der Franken-

häusersche Apparat sich so wenig hat durchsetzen können und fast vollständig in Vergessenheit geraten ist, während ein auf demselben Prinzip beruhendes, viel später von Leonhard Hill unter dem Namen Katathermometer bekanntgegebenes Instrument allgemeine Anerkennung gefunden hat und besonders von den Praktikern der Gewerbehygiene geradezu mit Begeisterung aufgenommen worden ist. Der Hauptgrund liegt wohl darin, daß das Katathermometer sehr viel handlicher ist und daß es von vornherein in einem eleganteren mathematischen Gewande auftrat. Das große Vertrauen zu der Exaktheit des Apparates und der Methode ist wohl im wesentlichen der exakten mathematischen Formulierung zu verdanken.

Das Hillsche Katathermometer ist ein Alkoholthermometer mit besonders großem, zylinderförmig gestalteten Gefäß. Es trägt zwei Marken, das deutsche bei 38° und 35° Celsius. Die Anwendung geschieht so, daß der Apparat durch Eintauchen in warmes Wasser angewärmt wird, bis der Alkohol über die obere Marke gestiegen ist und sich in dem oberhalb liegenden Reservoir zu sammeln beginnt. Dann wird es sorgfältig abgetrocknet, an Ort und Stelle aufgehängt und nun wird mit der Stoppuhr die Zeit beobachtet, innerhalb deren der Alkoholfaden von der oberen bis zur unteren Marke sinkt, d. h., die Zeit, die zur Abkühlung von 38° auf 35° nötig ist. Diese Zeit kann als umgekehrt proportional der Abkühlungsgröße angesehen werden. Die Instrumente tragen eine Eichzahl eingraviert, welche die Wärmemenge in mgcal. angibt, die das Instrument bei der Abkühlung von 38° auf 35° von jedem qcm seiner Oberfläche verliert. Dividiert man also diesen Wert durch die beobachtete Zeit in Sekunden, so erhält man den Wärmeverlust für die Sekunde und das qcm Oberfläche. Diesen Wert hat Hill als Kataindex bezeichnet, er wird in Deutschland jedoch Katawert oder Kühlstärke genannt und als Ausdruck für die Abkühlungsgröße angesehen.

Auf die Bedenken, die gegen das Katathermometer zu erheben sind, hat Reichenbach in seinem Referat auf der Gesolei in Düsseldorf 1926 hingewiesen. Von den Voraussetzungen, auf denen sich die Theorie des Katathermometers aufbaut, sind verschiedene nicht streng erfüllt. Die Temperaturdifferenz zwischen Thermometer und umgebender Luft wird nach der mittleren Temperatur des Thermometers berechnet, die bei den deutschen Exemplaren bei 36,5° liegt: diese Rechnung würde aber nur dann streng zutreffend sein, wenn der Temperaturabfall von 38° auf 35° geradlinig erfolgte. Das tut er aber nicht, sondern er verläuft

vielmehr annähernd logarithmisch, wie das nach dem Newtonschen Abkühlungsgesetz zu erwarten ist. Es sei übrigens bemerkt, daß dieses Gesetz nicht streng gilt, weil die Abkühlung durch Strahlung nicht proportional der jeweils herrschenden Temperaturdifferenz erfolgt. Die Abweichungen von der geraden Linie sind natürlich um so größer, je näher die Lufttemperatur an der Temperatur des Thermometers liegt, was durch die nachfolgenden Beispiele gezeigt werden mag.

Wir haben die Teilstrecke von 38° und 35° nach cm eingeteilt. Der Abfall des Alkoholfadens pro cm erfolgte folgendermaßen:

Temper. 22,7°	18,4	Sek. pro cm.	Temper. 30,8°	36,3	Sek. pro cm.
	19,6	„ „ „		40,6	„ „ „
	20,7	„ „ „		42,4	„ „ „
	21,4	„ „ „		44,8	„ „ „
	21,9	„ „ „		48,1	„ „ „
	22,8	„ „ „		56,1	„ „ „
	23,5	„ „ „		56,4	„ „ „
				62,0	„ „ „

Die Berechnung des Katawertes, d. h. des Wärmeverlustes für die Sekunde, durch Division mit der gesamten Abkühlungszeit wäre also, streng genommen, nur dann zulässig, wenn der Wärmeverlust in der Zeiteinheit innerhalb der Versuchszeit derselbe wäre, d. h., wenn in jeder Sekunde dieselbe Wärmemenge abgegeben würde. Der Fehler fällt bei großen Temperaturdifferenzen nicht sehr ins Gewicht, kann aber, wie das auch die experimentellen Beispiele zeigen, sehr groß werden, wenn die Lufttemperatur sich der des Thermometers nähert.

Ein weiterer Fehler liegt darin, daß sich die Wärmestrahlung rechnerisch nicht berücksichtigen läßt, doch fällt dieses Bedenken bei den Messungen im Bergwerk nur insofern in die Wagschale, als die Strahlungskonstante der Glaskugel des Thermometers und der menschlichen Oberfläche verschieden ist. Temperaturdifferenzen zwischen Gesteintemperatur und Lufttemperatur, die den Fehler stark vergrößert haben würden, konnten kaum beobachtet werden.

Als ein Mangel des Instrumentes ist auch zu werten, daß die vom Katathermometer angezeigte Temperatur nur die durchschnittliche Temperatur des Alkoholgefäßes erkennen läßt, während an den einzelnen Stellen des Gefäßes größere Ungleichheiten vorhanden sein können. Deshalb kann bei demselben

Stand des Alkoholfadens die Oberflächentemperatur verschiedene Werte besitzen; wie groß der hierdurch bedingte Fehler ist, läßt sich nicht angeben, er läßt sich aber wohl durch große Vorsicht bei der Erwärmung des Thermometers — man muß immer mit derselben Temperatur des Wasserbades arbeiten, das Thermometer bis zu derselben Tiefe eintauchen und es bis auf dieselbe Temperatur erwärmen — weitgehend unschädlich machen.

Ein Bedenken, das weiterhin von Reichenbach gegen das Katathermometer, hauptsächlich allerdings gegen seine klimatologische Verwendung, geltend gemacht worden ist, ist der Umstand, daß bei den Messungen mit dem Katathermometer nicht die Gewähr dafür gegeben ist, daß die Messungen wirklich den vorherrschenden oder auch nur den Durchschnittswert angeben, sondern daß es bei den rasch wechselnden Windgeschwindigkeiten mehr oder weniger vom Zufall abhängig ist, welcher Wert gerade bei der Terminbeobachtung gefunden wird. Es besteht dadurch die Gefahr, daß, wenn man nicht wiederholt Messungen an demselben Ort vornimmt, man zu einer irrtümlichen Auffassung über die klimatologischen Verhältnisse an diesem Messungsort kommen kann.

Reichenbach hat deswegen für Dauermessungen, besonders zu Dauerbeobachtungen über Klima- und Witterungseinflüsse, ein Instrument konstruiert, das durch elektrische Widerstände geheizt wird und durch automatische Schaltung auf einer bestimmten Temperatur gehalten wird, mit dem sich langfristige Daueregistrierungen durchführen lassen. Aus dem Verbrauch der zugeführten Energie kann man ohne weiteres die Abkühlungsgröße ersehen.

Ein ähnlicher Apparat zur Registrierung des Wärmeverlustes wurde auch von Dorno konstruiert und ist als „Davoser Frigorimeter bekannt geworden. Der letztere wird von Dorno ausdrücklich auch für die Verwendung in Bergwerken empfohlen — soweit mir bekannt, hat er aber für diesen Zweck noch keine Verwendung gefunden und dürfte auch bei seiner zwar sehr sorgfältigen aber auch sehr empfindlichen Bauart kaum den zerstörenden Einflüssen der Kaligruben gewachsen sein. Bezüglich der Einzelheiten verweise ich auf die entsprechenden Arbeiten.

Auf die Theorie des Katathermometers möchte ich ebenfalls nicht näher eingehen. Ich verweise insbesondere auf die Arbeit von Weiß.

Man wählte absichtlich für das Katathermometer gerade das oben angegebene Intervall von 38^0 und 35^0 als Maß für die Abkühlungsgröße, da die mittlere Temperatur, $36{,}5^0$, der normalen

Körpertemperatur entsprechen sollte. In Wirklichkeit müßte natürlich die Oberflächentemperatur des Katathermometers gleich der Oberflächentemperatur des Körpers sein. Die Oberflächentemperatur des Katathermometers ist nicht genau bekannt, sie dürfte aber bei der geringen Dicke der Glasschicht nicht allzu weit von 36,5° liegen; je nach den Entwärmungsbedingungen – Temperaturdifferenz, Luftbewegung – werden aber nicht unerhebliche Schwankungen anzuehmen sein.

Dorno hat für sein Frigorimeter eine Innentemperatur von 33,5° gewählt — er nimmt an, daß auch die Oberflächentemperatur nicht wesentlich davon abweiche und daß sie etwa der Oberflächentemperatur des Körpers entspreche. Die erstere Voraussetzung trifft aber nur bei Windstille und nicht allzu großer Temperaturdifferenz zu – bei stärkerer Windgeschwindigkeit und kühler Luft kann die Oberfläche um mehrere Grad kälter sein, als das Innere. Es ist also auch beim Frigorimeter die Oberflächentemperatur unsicher und damit ist die Möglichkeit, auch nur physikalisch eine exakte Definition der Abkühlungsgröße festzulegen, auch bei diesem Instrument von vornherein ausgeschlossen – ganz abgesehen von anderen Schwierigkeiten, unter denen die Berücksichtigung des Wärmeverlustes durch Strahlung mit seinen ganz abweichenden Gesetzmäßigkeiten eine der größten ist.

Die einzige Methode, zu einem Abkühlungsgefäß mit praktisch konstanter Oberflächentemperatur zu kommen, ist die Verwendung eines Hohlkörpers aus möglichst dünnem, möglichst gut wärmeleitendem Blech, das mit Flüssigkeit gefüllt ist. Die Flüssigkeit wird durch automatische Heiz- und Reguliervorrichtung auf konstanter Temperatur gehalten und durch ein Rührwerk dauernd gemischt. Hier ist tatsächlich das Temperaturgefälle zwischen Flüssigkeit und Außenwand des Gefäßes so gering, daß es praktisch vernachlässigt werden kann. Eine solche Vorrichtung hat sich im Göttinger Hygienischen Institut seit längerer Zeit bei Untersuchungen im Laboratorium aufs beste bewährt – für die Verwendung in der Klimatologie und besonders in der Gewerbehygiene ist sie aber viel zu kompliziert und empfindlich.

Noch unsicherer und wechselnder ist die Höhe der Oberflächentemperatur des Körpers. An den bekleideten und unbekleideten Stellen sind große Differenzen vorhanden — die ersteren schwanken stark je nach der Dicke der Kleidung, die letzteren nach der Füllung der Blutgefäße und der Feuchtigkeit der

Haut. Beide sind im hohem Maße abhängig von den äußeren Entwärmungsbedingungen.

Es wird deshalb niemals möglich sein, ein Instrument zu konstruieren, daß auch nur rein physikalisch auf die entwärmenden Faktoren quantitativ ebenso reagiert, wie der menschliche Körper und vollends undenkbar ist es, auch die physiologischen Reaktionen des Körpers und die durch sie bedingten Veränderungen der Wärmeabgabe mit in die Angaben eines solchen physikalischen Instrumentes einzubeziehen.

Daran wird auch nichts geändert, wenn man den Einfluß der Luftfeuchtigkeit, die auf die Angaben eines gewöhnlichen Katathermometers keinen wesentlichen Einfluß besitzt, durch Verwendung des sogenannten feuchten Katathermometers mit zu berücksichtigen versucht. Bei den Messungen mit dem trockenen Katathermometer bleibt nämlich ein Faktor unberücksichtigt, der für die Entwärmung auch von enormer Wichtigkeit ist, nämlich die Wärmeabgabe durch Schweißverdunstung. Am Körper tritt die Schweißabgabe erst bei einer bestimmten Temperatur merklich in Erscheinung und die Möglichkeit dieser Art der Entwärmung hängt selbstverständlich sehr wesentlich von dem Feuchtigkeitsgehalt der Luft ab. Ist sie nahezu gesättigt, so ist die Entwärmung durch Schweißabgabe sehr erschwert und es wird selbstverständlich sehr bald ein körperliches Mißbehagen einsetzen. Hill suchte nun diesen Faktor dadurch in Rechnung zu ziehen, daß er die untere zylinderförmige Erweiterung des Katathermometers mit einem feuchten Strumpf überzog. Dieses sogenannte feuchte Katathermometer, bei dem also die Verdunstung starken Anteil an der Entwärmung hat, ist also das Gegenstück zu einem schwitzenden Menschen, bei dem die Entwärmung ebenfalls zum größten Teil auf diesem Wege stattfindet. Theoretisch könnte man ja eigentlich den Menschen und das feuchte Katathermometer nur dann in Parallele setzen, wenn die ganze Körperoberfläche feucht wäre; für niedrigere Temperaturen, wo die Entwärmung teils durch Schweißverdunstung, teils aber auch nur durch Windbewegung und Temperaturdifferenz stattfindet, müßten also Übergangsformeln zwischen trockenem und feuchtem Katathermometer aufgestellt werden, ein Versuch, den auch Rosenthal folgerichtig gemacht hat. Diese dritte Abkühlungsmöglichkeit, also durch Schweißabgabe, wird selbstverständlich einmal wieder dadurch begünstigt, daß die Luftfeuchtigkeit sehr gering ist und zweitens dadurch, daß eine lebhafte Luftbewegung einwirkt. Beiden Bedingungen scheint auch das feuchte

Katathermometer gerecht zu werden, denn auch der feuchte Strumpf wird bei gleicher Temperaturdifferenz seine Feuchtigkeit um so schneller und besser abgeben können, je größer die Windgeschwindigkeit und je geringer die Luftfeuchtigkeit ist.

Man hoffte also, auch für das feuchte Katathermometer feste Grenzen ziehen zu können, innerhalb deren auch bei hoher Temperatur und verschiedenem Sättigungsdefizit und verschiedener Luftbewegung stets ein günstiges Befinden des Menschen garantiert sei und bei deren Über- oder Unterschreiten es zu unangenehmen Mißempfindungen und Erschwerungen der Arbeitsbedingungen kommt.

Selbstverständlich gelten aber alle gegen das trockene Katathermometer erhobenen Bedenken auch für das feuchte und zwar in noch höherem Maße, weil hier die physiologischen Bedingungen eine besonders große Rolle spielen und weil auch die physikalischen Unterschiede zwischen der feuchten Oberfläche des Katathermometers und der des menschlichen Körpers besonders hoch sind.

Trotz aller dieser Bedenken wird man aber doch die Hoffnung hegen dürfen, daß die Beobachtungen mit dem Katathermometer – oder ähnlichen, auf demselben Prinzip beruhenden Instrumenten – besseres leisten, als die bisher zur Beurteilung allein benutzte Beobachtung der Temperatur. Wie weit diese Hoffnungen berechtigt sind, ob es gelingt, eine sichere Beurteilung der hygienischen Bedingungen an warmen Betriebspunkten mit dem Katathermometer zu erreichen oder gar einen Grenzwert für den Katawert aufzustellen, kann nur die Erfahrung entscheiden.

Im Folgenden möchte ich über einige Untersuchungen berichten, die ich in dieser Richtung in einigen Kaligruben Südhannovers anstellen konnte. Die Untersuchungen wurden aus rein privater Initiative, ohne staatlichen Auftrag und ohne materielle staatliche Beihilfe, aber mit äußerst wohlwollender Unterstützung der staatlichen Aufsichtsbehörden und der Verwaltung der Werke ausgeführt.

Ich möchte nicht verfehlen, an dieser Stelle dem freundlichen Entgegenkommen und der freundlichen Mithilfe und Unterstützung von Herrn Bergrat Wiegand, Herrn Bergwerksdirektor Westermann, Herrn Bergwerksdirektor Dr. Banthien und Herrn Dr. ing. Hartwig zu danken.

Der Charakter der Untersuchungen brachte es mit sich, daß nur mit bescheidenen Mitteln gearbeitet werden konnte und daß insbesondere bei den Beobachtungen an den Bergleuten selbst jede Störung des Betriebes soviel wie irgendmöglich vermieden

werden mußte. So konnten zeitraubende und umständliche physiologische Experimente (Stoffwechsel- und Ergometerversuche) nicht ausgeführt werden.

Zunächst einige Worte über die von uns benutzten Meßinstrumente und Methoden.

Temperatur und Feuchtigkeit wurden mit dem Aßmann'schen Aspirationshygrometer bestimmt. Die Angaben des Instrumentes sind, wie bekannt, durchaus zuverlässig, nur muß man daran denken, daß es – wie alle feinmechanischen Apparate – sehr empfindlich gegen den Salzstaub ist und deshalb sehr sorgfältiger Reinigung und Pflege bedarf, wenn es funktionsfähig bleiben soll. Der Ersatz durch ein Schleuder-Psychrometer, an den wir anfangs dachten, erwies sich bei den räumlich beschränkten Verhältnissen der Gruben als nicht durchführbar.

Zur Messung der Luftbewegung war ein Fueß'sches Flügelradanemometer in Aussicht genommen. Es zeigte sich aber bald, daß die Windgeschwindigkeiten für das verhältnismäßig träge Instrument meistens zu gering waren. Deshalb lag es nahe, das Katathermometer selbst für die Bestimmung der Windgeschwindigkeit zu benutzen. Hill hat nämlich mit Hilfe des trockenen Katathermometers von Neuem die gesetzmäßigen Beziehungen untersucht, die zwischen der Abkühlungsgröße einerseits und der Temperatur und Luftbewegung andererseits bestehen. Auch er ist, wie früher schon v. Schuckmann und Heymann, zu dem Resultat gekommen, daß die Wurzel aus der Windgeschwindigkeit in die Formel eingeht. Für die Errechnung der Windgeschwindigkeit sind jedoch von verschiedenen Autoren, Hill, Weiß, Bradtke, verschiedene Formeln aufgestellt worden, und es läßt sich nicht verhehlen, daß man bei der Errechnung nach den von den einzelnen Autoren angegebenen Formeln oft zu sehr abweichenden Ergebnissen über die Stärke der Windgeschwindigkeit kommt, worauf auch schon Rosenthal in seiner Arbeit hingewiesen hat. Auch ich möchte einige Beispiele anführen:

Windgeschwindigkeit: Errechnet nach:		
Hill	Weiß	Bradtke
0,001	0,022	0,0745
0,0054	0,034	0,101
0,018	0,065	0,16
0,042	0,084	0,2
0,072	0,117	0,26
1,13	0,97	1,23
1,8	1,14	2,04

Diese Beispiele zeigen, wie sehr nicht nur bei meßbaren Windgeschwindigkeiten, sondern auch gerade bei ganz geringfügigen Windbewegungen, die mit Anemometern nicht meßbar sind und die man mit dem Katathermometer sicher zu erfassen glaubte, die Ergebnisse voneinander abweichen.

Immerhin kann das Katathermometer dazu dienen, wenigstens die Größenordnung schwacher Luftströme, denen man sonst garnicht beikommen könnte, festzustellen. Von allzu großer Bedeutung sind übrigens diese Messungen überhaupt nicht, da die Werte natürlich in den Katathermometerbeobachtungen mit enthalten sind und eine gesonderte Feststellung nur dann größere Bedeutung haben würde, wenn sie mit einem vom Katathermometer unabhängigen Instrument gewonnen wären.

An Katathermometern standen uns zwei englische und ein deutsches Instrument zur Verfügung. Die englischen waren Originalinstrumente der Firma James J. Hicks, London, das deutsche stammte von der Firma Richter und Wiese, Berlin; die englischen trugen die Eichzahlen aufgraviert, bei dem deutschen wurde die Eichzahl, die brieflich von der Firma mitgeteilt und verloren gegangen war, durch Vergleich mit den englischen Instrumenten bestimmt. Es darf vielleicht als ein Beweis für die Genauigkeit der Instrumente und wohl auch für sorgfältiges Arbeiten angesehen werden, daß die auf die auf diese Weise gewonnene Zahl mit der von der Firma mitgeteilten, die sich später wieder auffand, genau identisch war.

Bei der Handhabung der Katathermometer haben wir uns an die Vorschriften gehalten, die vom Arbeitgeberverband der Kaliindustrie herausgegeben wurden, nämlich:

1. die Messungen mit vorher geeichten Katathermometer vorzunehmen,
2. an jeder Meßstelle mindestens je zwei Trocken- und Feuchtmessungen anzustellen,
3. das Wasser zum Erwärmen des Katathermometers möglichst auf 60 Grad zu erwärmen,
4. darauf zu achten, daß das Gefäß und die untere Erweiterung bei dem Erwärmen vollständig von dem erwärmenden Medium umspült ist,
5. weiter sorgfältig darauf zu achten, daß weder in dem Thermometer noch in der Erweiterung eine Luftblase sich befindet,
6. bei Mißlingen einer Messung erst nach vollständigem Absinken des Fadens eine neue Messung vorzunehmen,

7. außerdem dafür zu sorgen, daß das Katathermometer sich unbedingt in Ruhe befinden muß und bei den Feuchtmessungen, stets dieselben Strümpfe aus feinmaschigem Musselin benutzt werden.

Gewisse Schwierigkeiten machte die hygienische Beurteilung des Klimas und seines Einflusses auf den Körperzustand und die Arbeitsfähigkeit der Belegschaft. Da aus den oben angeführten Gründen kompliziertere und zeitraubende Untersuchungsmethoden nicht in Betracht kommen konnten und da außerdem über den Wert und die Deutung, der mit solchen Methoden gewonnenen Ergebnisse kaum Erfahrungen vorliegen, haben wir uns auf die allereinfachsten Beobachtungen beschränken müssen.

Dazu gehört zunächst die Messung der Körpertemperatur, die in der Achselhöhle vorgenommen wurde. Wir haben uns nach mannigfachen Überlegungen und Versuchen für diese Art der Messung entschieden, da sie sich unter den gegebenen Verhältnissen als die einfachste und sicherste erwies. Allerdings sind die Temperaturen wohl etwas niedriger, als die mit anderen Messungsmethoden gefundenen, und das ist beim Vergleich mit anderen Resultaten zu berücksichtigen. Sehr leicht festzustellen ist die Pulsfrequenz, die auch in den meisten Fällen bestimmt wurde. Ich möchte aber gleich hier bemerken, daß die Resultate der Pulszählung nicht das gehalten haben, was wir uns von ihnen versprochen hatten.

Nach den Erfahrungen in den Steinkohlengruben im Ruhrbezirk sind aus dem isolierten Verhalten von Blutdruck und Pulsfrequenz kaum Schlüsse zu ziehen, wohl aber aus der Beziehung von Blutdruck und Pulzfrequenz zu einander. Und zwar zeigte sich, daß, je tiefer die Blutdrucksenkung bei hoher Pulsfrequenz war, um so angestrengter die Versuchspersonen waren und um so länger die Erholung dauerte. Allerdings muß darauf hingewiesen werden, daß unseres Erachtens die Differenzen des Blutdrucks fast in den meisten Fällen in meßtechnischen Fehlergrenzen lagen und die Differenz vor und nach der Arbeit auch bei sehr ungünstigen klimatischen Bedingungen oft nur wenige mm Hg betrugen. Wir haben deshalb nach reiflicher Überlegung auf die Messung des Blutdruckes verzichtet. So haben wir uns bei der Beurteilung im wesentlichen auf die Angaben der Arbeiter selbst verlassen müssen und wir müssen sagen, daß das Urteil der dort beschäftigten Leute eigentlich immer auch unseren eigenen Empfindungen entsprach, daß also kein Anlaß vorlag, anzunehmen,

daß aus bestimmten Tendenzen heraus unberechtigt Klagen von den Arbeitern vorgebracht würden.

Ein sehr wichtiges objektives Kriterium für die Beurteilung der klimatischen Verhältnisse gibt übrigens neben diesen Angaben die Bekleidung der Leute, die instinktiv den Entwärmungsbedingungen angepaßt wird und zwischen vollständiger Bekleidung bis zur völligen Nacktheit des Oberkörpers wechselte.

In der nebenstehenden Tabelle sind die Untersuchungen, bei denen auch Puls und Körpertemperatur gemessen wurde, nach steigenden trockenen Katawerten geordnet.

Werfen wir zunächst einen Blick auf die klimatischen Beobachtungen. Die trockenen Katawerte liegen zwischen 1,68 und 5,92, die feuchten zwischen 9,06 und 23,5. Beide Werte sind abhängig von Temperatur und Windgeschwindigkeit – in den feuchten Katawert geht außerdem noch die Luftfeuchtigkeit ein. – Als Maß für die Luftfeuchtigkeit müßte am besten das Sättigungsdefizit eingesetzt werden; bei der Berechnung des Sättigungsdefizits müßte aber streng genommen nicht die Lufttemperatur, sondern die Temperatur der verdunstenden Oberfläche des Katathermometers zu Grunde gelegt werden. Diese letztere ist unbekannt, – dafür die Temperatur des feuchten Thermometers des Psychrometers zu setzen ist natürlich nicht angängig, weil das Katathermometer mit seiner künstlich erhöhten Temperatur ganz andere Temperaturen aufweisen muß und weil außerdem noch die Oberfläche des Aspirationspsychrometers durch den ventilierenden Luftstrom, dessen Geschwindigkeit meist wesentlich größer ist, als die Wetterbewegung, stärker gekühlt wird.

Ich habe mich deshalb mit der Angabe der relativen Feuchtigkeit begnügt, ohne den Versuch zu machen, die Umrechnung auf Sättigungsdefizit, die doch nicht ganz sicher gewesen wäre, durchzuführen.

Nun sind aber die Schwankungen in der relativen Feuchtigkeit überhaupt nicht allzu groß. Sie betrug im Durchschnitt 56%, die niedrigste wurde mit 40, die höchste mit 70% beobachtet. Zwischen 46 bis 62% bewegten sich 17 von den 23 Beobachtungen.

Die beobachteten Temperaturen lagen zwischen 22 und 30,8° und betrugen im Mittel 25,4°. Sie sind also in dieser Versuchsreihe nicht übermäßig hoch.

Betriebspunkte mit extrem hohen Temperaturen (über 32,4°) konnten von uns leider nicht untersucht werden, wo vielleicht noch höhere Körpertemperaturen hätten beobachtet werden

Nr.	Vers. Person	Temp. Grad C	Relat. Feuchtigkeit	v. m/sek.	Katawert trock.	Katawert feucht	Achseltemp. Grad C	Puls	subjektive Angaben
1.	H. 40 J.	28	49%	0,00	1,68	9,06	37,1	–	unerträgl. warm
	Sch. 25 „						36,9		
	H. 25 „						37,5		
2.	Sch. 25 „	29,8	57%	0,023	1,74	9,68	37,1	80	auch in der Ruhe
	H. 25 „						37,3	78	starkes Unbeh.
3.	H. 18 „	29,6	44%	0,057	2,04	11,75	37,4	84	drückend warm
4.	H. 40 „	28,8	66%	0,04	2,19	9,68	37	76	„ „
	H. 31 „						36,5	60	„ „
5.	P. 35 „	24,8	70%	0,001	2,49	11,23	37	96	schwitzt stark,
6.	M. 27 „	30	40%	0,23	2,54	14,95	36,9	60	abgeschl. warm,
	A. 32 „						36,8	84	aber erträglich.
	A. 34 „						36,1	88	
7.	J. 34 „	26,2	51%	0,03	2,75	10,96	37,3	80	feuchte Haut
	K. 42 „						37,2	72	
8.	R. 53 „	27,8	59%	0,09	2,8	11,6	36,8	78	Beschwerdefrei
	M. 45 „						37,1	84	
9.	P. 48 „	26,8	58%	0,05	2,81	12,34	36,5	92	feuchte Haut,
	M. 21 „						36,6	78	keine Beschw.
10.	V. 48 „	27,2	66%	0,018	2,87	14,1	36,8	60	keine Beschw.
	D. 50 „						36,9	80	
11.	M. 46 „	26,3	62%	0,042	2,88	12,65	37,5	92	Schwitzen, aber
	G. 25 „						36,9	88	keine stärkeren
	H. 32 „						37	76	Beschwerden
12.	L. 42 „	27	55%	0,06	2,9	12,34	36,5	68	Beschwerdefrei
	R. 52 „						36,1	78	
13.	A. 48 „	26,2	60%	0,05	3,0	11,22	36,5	80	ganz angenehm
	D. 36 „						37,3	78	
	F. 26 „						36,8	80	
14.	L. 50 „	26,3	51%	0,07	3,14	12,65	86,8	84	keine Beschw.
	R. 50 „						36,8	64	„ „
15.	L. 48 „	30,8	41%	0,8	3,18	21,5	36,5	80	ganz erträglich
	D. 26 „						36,7	64	
16.	G. 48 „	25,3	55%	0,046	3,2	14,1	36,7	74	keine Beschw.
	R. 50 „						36,5	80	„ „
17.	T. 45 „	25,3	60%	0,078	3,49	13,34	36,5	70	„ „
	B. 45 „						36,5	76	„ „
18.	Z. 49 „	25,4	55%	0,08	3,51	13,7	36,8	80	Arbeiter voll-
	T. 39 „						36,6	78	komm. bekleid.
19.	L. 39 „	23,5	61%	0,04	3,62	13,52	36	64	keine Beschw.
	B. ? „						36,5	84	
20.	T. 49 „	23,2	62%	0,05	3,77	14,67	37,5	84	„ „
	K. 43 „						36,8	80	
21.	E. 48 „	22	61%	0,04	3,93	14,1	36,0	68	„ „
	T. 39 „						36,5	72	
22.	Sch. 45 „	23,9	59%	0,31	5,23	20,1	36,5	68	Temperatur an-
	H. 45 „						36,5	60	genehm
23.	K. 25 „	28	49%	1,13	5,92	23,5	36,1	80	ganz angenehm
	H. 25 „						36,5	64	

können. Daß es hier zu subjektiven Mißempfindungen kommen mußte, liegt ohne weiteres auf der Hand. Das Wichtigste sind aber gerade die kritischen, an der Grenze der Zulässigkeit liegenden Temperaturen, bei denen so eindeutige objektive Maßstäbe, starkes Ansteigen der Pulsfrequenz, Blutdrucksenkung, stärkere Steigerung der Körpertemperatur, noch nicht beobachtet werden können.

Die Windgeschwindigkeiten waren meistens gering — subjektiv garnicht oder als ganz leichter Zug eben fühlbar. Sie erreichten selten eine Höhe, die eine Messung mit dem Anemometer gestattet, sie mußten deshalb (siehe Seite 11) aus den Katawerten berechnet werden. Daß dies keine genaue Methode ist, wurde bereits früher auseinandergesetzt – ohne die Verwendung des Katathermometers würde man in den meisten Fällen von Windstille gesprochen haben.

Betrachten wir nun im Vergleich mit diesen klimatischen Werten die physiologischen Untersuchungen und die subjektiven Angaben der Arbeiter.

Daß auf die Pulsfrequenz kein ausschlaggebender Wert gelegt werden kann, geht schon daraus hervor, daß an ein und demselben Betriebspunkt die dort beschäftigten Arbeiter unter sich sehr große Differenzen zeigten. Individuelle Unterschiede spielen deshalb offenbar eine große Rolle. Man hätte vielleicht einen Teil dieser individuellen Unterschiede dadurch eliminieren können, daß man die Pulsfrequenz auch vor dem Einfahren bestimmt hätte. Das war aber aus den oben angeführten Gründen nicht tunlich – hätte aber auch keineswegs sichere Resultate gegeben, weil natürlich individuelle Verschiedenheiten ebenso gut in der Reaktion auf die Anstrengung, wie in der habituellen Pulsfrequenz vorhanden sein können.

Entschieden günstiger für die Beurteilung verhalten sich die Körpertemperaturen. Auch hier kommen Abweichungen und zwar nicht unerhebliche Abweichungen, bei den Arbeitern am selben Betriebspunkte vor (siehe Versuch 1, 11 und 13), aber die Übereinstimmung ist doch erheblich besser, als bei den Luft-Temperaturen. Auch mit den subjektiven Angaben stimmen die Körpertemperaturen wesentlich besser überein, als die Pulsfrequenz.

Wenn wir nun fragen, welche der klimatischen Faktoren am besten mit dem physiologischen Beobachtungen parallel gehen, so sehen wir zunächst, daß die Lufttemperatur als Ausdruck der Entwärmungsbedingungen keine allgemeine Geltung besitzt. Ganz allgemein kann man zwar sagen, daß an warmen Betriebspunkten

die Verhältnisse ungünstiger liegen, als an solchen mit mäßiger Temperatur, aber auch bei dieser Fassung des Satzes sind noch reichlich Ausnahmen vorhanden. So haben wir bei Nr 5 24,8°: erhebliche subjektive Beschwerden, bei 30,8° (Nr. 15) dagegen „ganz erträgliche" Arbeitsbedingungen. 28° werden einmal als ganz erträglich angesehen, ein anderes Mal als unerträglich warm bezeichnet. Hier müssen also die anderen Faktoren entscheidend eingewirkt haben — und in der Tat zeigt sich, daß bei diesen großen Differenzen vorhanden sind. Man betrachte folgende Zusammenstellung:

Luft-Temp.	Befinden	Wind-geschw.	Rel. F.	Katawerk trock.	Katawerk feucht	Puls	Körpertemperatur
24,8	Erhebl. Beschw.	0	70%	2,49	11,23	96	36,5 36,7
30,8	ganz erträgl.	0 8	41%	3,18	21,5	80,64	37
28,0	ganz angenehm	1,13	49%	5,29	23	80,64	36,1 36,5
28,0	unertr. warm	0,02	49%	1,68	9,6	–	37,1 36,9 37,5

Im ersten Beispiel sind es die größere Windgeschwindigkeit und die geringere Luftfeuchtigkeit, durch die der Unterschied bedingt ist und die zusammen den Einfluß der höheren Temperaturen überkompensieren. Im zweiten Beispiel sind Temperatur und relative Feuchtigkeit — also auch das Sättigungsdefizit — gleich — hier sind die besseren Bedingungen lediglich der stärkeren Luftbewegung zu verdanken. Wie erhalten sich nun bei diesen Fällen die Katawerte? Man sieht ohne weiteres, daß in ihnen die Wirkung des Klimas gut zum Ausdruck kommt und daß sie durchaus mit dem subjektiven Empfinden der Versuchspersonen übereinstimmt. Beim ersten Beispiel, bei dem die Luftfeuchtigkeit eine wichtige Rolle spielt, ist der Unterschied zwischen den feuchten Katawerten besonders auffallend: 11,23 gegen 23,5 — beim zweiten Beispiel, bei dem nur die Windgeschwindigkeit das Entscheidende ist, ist ein besonders großer Unterschied in den trockenen Katawerten zu verzeichnen. Die eben genauer besprochenen Beispiele sind besonders hervorstechend — aber auch sonst sieht man bei genauerer Prüfung der Tabelle, daß von allen gemessenen Größen die Katawerte

am meisten mit der physiologischen Wirkung des Klimas parallel gehen. Die Frage, ob den trockenen oder den feuchten Katawerten eine größere Bedeutung zukomme, ist aus dieser Tabelle zu Gunsten der trockenen Katawerte zu beantworten – und zwar kann man sagen, daß von 2,5 an abwärts die Beschwerden beginnen. Von hier an sind auch meistens geringe Erhöhungen der Körpertemperatur zu beobachten. Weniger bestimmt läßt sich die Grenze für die feuchten Werte festlegen. Im allgemeinen gehen sie mit den trockenen parallel — sie zeigen aber naturgemäß stärkere Abweichungen, wenn größere Differenzen in der Luftfeuchtigkeit vorhanden sind und besonders, wenn zugleich die Wettergeschwindigkeit etwas höhere Beiträge erreicht. In diesem Falle kann die Feuchtigkeit für das Befinden ausschlaggebend sein. Wollte man aus den vorliegenden Zahlen einen Grenzwert ableiten, so würde etwa der Wert von 10 – 11 in Frage kommen. Daß bei diesen Versuchen keine sehr große Differenz in der Bedeutung der trockenen und feuchten Katawerte zu Tage tritt, liegt wohl hauptsächlich daran, daß die Luftfeuchtigkeit nur in verhältnismäßig geringen Grenzen schwankt. Die wenigen Fälle mit besonders hoher und besonders niedriger relativer Feuchtigkeit zeigen auch größere Abweichungen von der Parallelität. Es scheint, als ob in diesen Fällen der feuchte Wert für das Befinden größere Bedeutung besäße, z. B. Nr. 5 und 6, sichere Schlüsse lassen sich aber bei der geringen Anzahl der Fälle und der relativ geringen Größe der Abweichungen nicht ziehen. Man muß sogar sagen, daß auch bei den trockenen Katawerten ihre Bedeutung nicht so eindeutig hervortritt, wie man hoffen könnte. Würde man die Versuche nach der Temperatur ordnen, so würde auch da eine gewisse Parallelität zwischen dem Wärmegrad und dem Befinden der Personen sich zeigen. Das kommt daher, daß die Windgeschwindigkeit, die neben den Temperaturen die Katawerte bedingt, nur geringe Differenzen zeigten. In den Fällen aber, in denen sie etwas größere Werte erreichte, ist ihr Einfluß auf die Katawerte und zugleich auf das Befinden so eklatant, daß diese Fälle den Wert der Katamessungen sehr deutlich illustrieren.

Immerhin ist es wünschenswert, noch größeres Material für die Frage heranzuziehen. In der Tabelle (Seite 19, 20) sind sämtliche Beobachtungen – wieder nach trockenen Werten geordnet – mitgeteilt. Es sind hier aber nicht die Befunde bei den einzelnen Arbeitern, sondern der Gesamteindruck, der an dem betreffenden Betriebspunkte gewonnen wurde, wiedergegeben.

Es sind im Ganzen auf diese Weise 68 Messungen ausgeführt worden, von denen 23 mit denen der Tabelle auf Seite 15 identisch sind. Die Temperaturen lagen zwischen 22° und 33°, Temperaturen unter 25° wurden 10 mal, über 30° 14 mal beobachtet. Die relative Feuchtigkeit betrug im Durchschnitt 55,3%, Werte

Nr.	Katawerte trock.	feucht	v. m/sek.	Temperatur Grad C.	Feuchtigkeit absolut	relativ %	Bemerkungen
1.	9,76	26,13	1	22	15,3	77	Arbeiter vollständig bekleidet
2.	8,96	22,81	1,1	22,6	15,9	77	Arbeiter vollständig bekleidet
3.	8,55	31,72	3,7	28,2	16,1	56	AusziehenderSchacht,
4.	8,41	33,6	3,5	28,2	15,7	55	Luft ist verbraucht,
5.	8,8	32,72	3,2	28,2	14,7	51	ausdörrend, aber keine
6.	**8,6**	**22,8**	1,1	23,4	16,5	**76**	Beschwerden durch die Temperatur.
7.	7,85	26,7	1,8	24,7	12,72	56	Die Arbeiter sind vollständig bekleidet.
8.	**7,22**	22,95	0,65	24,6	12,6	52	
9.	**5,29**	23,5	1,13	**28**	13,45	49	Keine Temperaturbeschwerden.
10.	5,23	**20,14**	0,31	23,9	12,83	59	
11.	4,85	**14,49**	0,2	23,4	16,2	75	
12.	4,42	**19,2**	0,87	**29**	16,03	53	Warm, aber nicht
13.	4,35	**15,82**	0,3	26,2	13,8	54	unangenehm, frische
14.	3,93	14,10	0,04	22	11,78	61	Lufbewegung wahrnehmbar. Keine Beschwerden
15.	3,77	14,67	0,05	23,2	12,93	62	keine Beschwerden
16.	3,6	13,52	0,04	23,5	12,9	61	keine Beschwerden
17.	3,51	13,71	0,08	25,4	12,69	55	Leute arbeiten i. Hemd
18.	3,24	11,78	0,06	25,8	16,3	65	Starkes klebriges Schwitzen (Feuchter Versatz)
19.	3,20	14,10	0,046	25,3	13,0	55	keine Beschwerden
20.	3,18	**21,46**	0,8	**30,8**	13,27	41	ganz erträglich
21.	3,16	12,23	0,09	26,6	13,9	53	erfrischend, angen.
22.	3,14	13,63	0,36	26,8	16,8	63	ganz angenehm
23.	3,14	12,65	0,07	26,3	12,94	51	keine Beschwerden
24.	3,09	13,88	0,07	26,4	15,9	61	merkliche Luftbewegung
25.	3,08	10,72	0,05	26	16,8	67	etwas schwül, aber erträglich (feuchter Versatz)

Nr.	Katawerte trock.	feucht	v. m/sek.	Tempe-ratur Grad C.	Feuchtigkeit absolut	relativ %	Bemerkungen
26.	3,07	12,06	0,1	27	14,4	54	Sehr gut erträglich
27.	3,0	11,22	0,05	26,2	14,97	60	Angenehm.
28.	2,99	11,62	0,05	26,2	16,7	65	Erfrischend, angen.
29.	2,99	11,85	0,09	27	16,0	60	Sehr gut erträglich.
30.	2,96	10,95	0,04	26,2	13,8	54	Erfrischend, angen.
31.	2,9	12,34	0,06	27	14,36	55	Erfrischend, angen.
32.	2,94	10,04	0,04	26	16,8	67	Etwas schwül, aber erträglich. (Feuchter Versatz).
33.	2,89	10,6	0,03	25,8	16,6	66	
34.	2,87	14,1	0,018	27,2	17,25	66	Keine Beschwerden.
35.	2,88	12,65	0,04	26,3	15,39	62	Schwitzen, aber kein Unbehagen.
36.	2,81	12,34	0,05	26,8	15,26	58	Schwitzen, aber kein Unbehagen.
37.	2,80	**11,6**	0,09	27,8	16,24	59	Keine Beschwerden.
38.	2,73	11,53	0,05	27,1	13,97	53	Keine Beschwerden.
39.	2,71	11,88	0,05	27,2	14,4	53	Gut erträglich.
40.	2,68	11,85	0,04	26,6	15,5	59	Angenehm.
41.	2,62	12,47	0,07	28	13,2	47	Warm, verbraucht; (abgesp. Nordflügel).
42.	2,57	15,42	0,01	25,3	12,84	55	Keine Beschwerden.
43.	2,57	12,67	0,1	28,6	14,5	49	Ziemlich warm, aber nicht drückend.
44.	2.54	**14,95**	0,23	**30**	12,37	40	Warm, aber erträglich.
45.	2,5	12,58	0,06	28	13,9	49	Warm, verbraucht; (abgesp. Nordflügel).
46.	2,49	**11,23**		**24,8**	16,11	70	Schwitzt stark, abgeschlagen.
47.	2,43	**13,76**	0,2	**30,2**	15,4	48	Warm, aber erträglich; Wetterbewegung wahrnehmbar.
48.	2.4	11,67	0,08	28,8	15,8	53	Warm, feuchte Haut.
49.	2,34	10,97	0,005	26,3	15,39	62	Bei längerer Arbeit bekommen die Leute Kopfschmerzen.
50.	2,19	9,68	0,04	28,8	19,37	66	Unerträglich, schwül.
51.	**2,04**	**11,75**	0,06	**29,6**	13,48	44	Drückend warm.
52.	1,92	9,92	0,02	29	15,3	51	Warm, schweißtreib.
53.	1,87	**14,75**	0,71	**32,4**	16,6	45	Schweißtreibend, drückend.

Nr.	Katawerte trock.	feucht	v. m/sek.	Tempe-ratur Grad C.	Feuchtigkeit absolut	relativ %	Bemerkungen
54.	1,79	10,09	0,02	29,6	14,7	47	Warm, schweißtreib., feuchte Haut.
55.	1,77	10,40	0,02	29,6	14,4	46	„ „ „
56.	1,74	9,68	0,02	29,8	17,57	57	Starke Schweißab-
57.	1,72	8,75	0,006	29	17,0	57	sonderung Unbehagen
58.	1,60	9,06	0,02	30,3	16,09	49	und Appetitlosigkeit, auch in der Ruhe.
59.	1,58	9,59	0,05	30	16,5	52	Drückend, Schweiß-
60.	1,56	9,02	0,01	30 2	16,4	51	treibend einschläfernd.
61.	1,55	9,14	0,01	30,2	16,1	50	„ „ „
62.	1,42	9,8	0,01	30,6	16,4	50	Alle schwitzen stark,
63.	1,15	9,71	0,01	31,8	15,6	44	körperliche Tätigkeit unmöglich.
64.	1,14	9,45	0,01	31,8	15,6	44	„ „ „
65.	1,13	8,28	0,004	31,5	15,8	45	„ „ „
66.	1,09	8,65	0,08	33	14,4	39	„ „ „
67.	1,03	8,46	0,01	32,2	17,9	49	Lähmend, einschläfernd, bedrückend.
68.	1,00	9,4	0,006	32,2	15,4	43	„ „ „

über 65 wurden 10 mal, unter 45 7 mal beobachtet. Der höchste beobachtete Wert lag bei 77, der niedrigste bei 39%. Die Windgeschwindigkeiten waren auch diesmal gering, doch finden sich höhere Geschwindigkeiten — etwas höher als bei den vorigen Werten. Der Höchstwert betrug 3,7 m, der niedrigste 0, unter 0,1 m lagen sie 48 mal.

Die trocknen Katawerte lagen zwischen 1,00 und 9,76, die feuchten zwischen 26,7 und 8,28.

Betrachten wir zunächst die Beobachtungen 1 – 13. Hier liegen die Katawerte trotz der zum Teil recht hohen Temperaturen – bis 29° — zwischen 4,05 und 9,76. Die Arbeiter sind in voller Bekleidung, irgendwelche Beschwerden über zu große Hitze werden nicht empfunden. Das ist den großen Windgeschwindigkeiten zuzuschreiben, die 8 mal über 1 m lagen und nur dreimal unter 0,5 m herabgingen. Auch hohe Luftfeuchtigkeit ändert daran nichts, obwohl sie viermal 75% und darüber betrug. Da die Luftbewegung die Entwärmung besorgt, brauchen die Arbeiter nicht merklich zu schwitzen und der Einfluß der Luftfeuchtigkeit wird sehr gering.

In den nun folgenden Beobachtungen 14–44 werden keine wesentlichen Beschwerden geäußert. Bei Nr. 44 wird die Situation als „warm, aber erträglich" bezeichnet – obwohl die Temperatur 30° betrug. Die trockenen Katawerte betragen bei diesen Versuchen 3,93–2,5.

Von Nr. 45 ab beginnt die Unbehaglichkeit, die sich dann gegen Ende der Reihe bis zu ganz erheblichen Beschwerden steigert. Hier liegen die trockenen Katawerte unter 2,5, sie gehen bis 1,0 herunter. Hier handelt es sich um das Zusammenwirken von hoher Temperatur und fast völligem Mangel an Luftbewegung – während die Luftfeuchtigkeit keineswegs besonders hoch war.

Die Tabelle zeigt, daß die subjektiven Empfindungen der Arbeiter und die Arbeitslust und Arbeitsmöglichkeit mit überraschender Genauigkeit den trockenen Katawerten folgen. Würde man die Versuche nicht, wie hier geschehen, nach den Katawerten, sondern nach dem Befinden der Arbeiter ordnen, so würde fast dieselbe Reihenfolge herauskommen. Auch hier kann man als Grenzwert die Zahl 2,5 betrachten – womit natürlich nicht gesagt sein soll, daß jede Unterschreitung dieses Wertes zu Gesundheitsstörungen führen müsse und daß immer, wenn die Werte über 2,5 liegen, klimatisch völlig einwandsfreie Arbeitsbedingungen vorhanden seien. Auf jeden Fall geht auch aus dieser Tabelle die große Überlegenheit der Katawerte über die Temperaturbeobachtungen hervor. Im allgemeinen steigt zwar die Temperatur mit sinkendem Katawert – aber es fallen doch soviel Beobachtungen aus der Reihe heraus, daß die Unzuverlässigkeit der reinen Temperaturbeobachtungen für die hygienische Beurteilung der Arbeitsbedingungen auf der Hand liegt. Es handelt sich hier fast immer um Beobachtungen, bei denen eine höhere Temperatur durch stärkere Luftbewegung kompensiert wird.

Wie steht es nun mit den feuchten Katawerten? Auf die trockenen Werte hat die Luftfeuchtigkeit so gut wie gar keinen Einfluß, da aber — wenigstens bei höheren Temperaturen – die Arbeiter einen großen Teil ihrer Wärmeregulation durch Wasserverdunstung vollziehen müssen, da ferner die Verdunstungsgeschwindigkeit von der Luftfeuchtigkeit abhängt und das feuchte Katathermometer ebenfalls durch die Luftfeuchtigkeit beeinflußt wird, so sollte man meinen, daß die feuchten Katawerte einen noch besseren Maßstab abgeben müßten als die trockenen. Belege für diese Vermutung kann man in der Tat auch in den Tabellen finden. Bei Versuch 18 wird über „starkes klebriges Schwitzen" geklagt, bei Nr. 25 findet sich die Angabe „etwas schwül", ebenso

bei Nr. 32 und 33. In allen diesen Fällen wurde mit feuchtem Versatz gearbeitet, die Luftfeuchtigkeit war hoch, 65 – 70%, die trockenen Katawerte lagen aber noch wesentlich über 2,5. Hier fallen die feuchten Katawerte aus der Reihe heraus – sie liegen tiefer, als die benachbarten, sodaß sie hier tatsächlich ein besseres Bild von der Klimawirkung geben, als die trockenen.

Die Beobachtungen reichen aber nicht aus, um eine sichere Grenzzahl für die feuchten Katawerte aufzustellen, denn die Parallelität zwischen Befinden und feuchten Katawerten zeigt doch mannigfache Ausnahmen. Wir finden bei den gleichen Katazahlen ganz verschiedene Angaben über das Befinden. Vielleicht hängt diese Unsicherheit damit zusammen, daß die feuchten Katawerte die Resultate von drei verschiedenen Komponenten — Temperatur, Windgeschwindigkeit und Luftfeuchtigkeit sind, die, wie schon oben ausgeführt – wohl physikalisch sich in eine Einheit — den feuchten Katawert — zusammenfassen lassen, die aber auf den Organismus jede für sich eine spezifische Wirkung ausüben und hierfür nicht einfach nach ihrem thermischen Effekt zusammengefaßt werden können.

Auch individuelle Differenzen spielen hier eine große Rolle. Es ist bekannt, daß die einzelnen Menschen sehr verschiedene Neigung zum Schwitzen haben und das muß natürlich die Reaktion des Körpers auf die Unterschiede in der Luftfeuchtigkeit stark beeinflussen.

Es ist deshalb wohl zu verstehen, wenn aus den vorliegenden Untersuchungen eine sichere Grenzzahl für die feuchten Katawerte sich nicht ableiten läßt. Man kann allerdings sagen, daß ein feuchter Katawert unter 10 mit Sicherheit zu Beschwerden führt und daß bei Werten über 14 die Bedingungen als günstig angesehen werden können. Zwischen 10 und 14 ist aber die Bedeutung der feuchten Katawerte unsicher. Allerdings, und das möchte ich ganz besonders betonen, gelten diese Überlegungen nur für die Grenzen der von uns angestellten Versuche. Es ist durchaus möglich, ja sogar wahrscheinlich, daß bei höherer Luftfeuchtigkeit, etwa von 65% an, und besonders beim Vergleich von Betriebspunkten, die sich hauptsächlich durch die Höhe der Luftfeuchtigkeit unterscheiden, die feuchten Katawerte für die Beurteilung sicherer und sogar notwendig sind. Unter den Verhältnissen, wie sie von uns untersucht worden sind, genügen aber die trockenen Werte vollständig — sie haben den Vorteil, daß sie einfacher zu bestimmen und einfacher zur beurteilen sind. Aber auch hier muß die Einschränkung gemacht werden, daß

bei unseren Untersuchungen insofern besondere Verhältnisse vorlagen, als keine ganz extremen Temperaturen (höchster Wert 33°) vorlagen und die Windgeschwindigkeit meistens sehr gering war. Die kleinen Windgeschwindigkeiten kommen aber, wie aus der Wurzelformel hervorgeht, in den Katawerten besonders zum Ausdruck. Auch hier soll keineswegs die Möglichkeit bestritten werden, daß unter anderen Verhältnissen die trockenen Katawerte keinen allgemein brauchbaren Maßstab für die physiologische Wirkung des Grubenklimas abgeben.

Einen Nachteil hat die Messung mit dem trockenen Katathermometer, den ich nicht unterlassen möchte, besonders zu erwähnen, das ist die sehr lange Beobachtungsdauer bei hohen Temperaturen. Eine Beobachtung ist selbstverständlich überhaupt nicht mehr möglich, wenn die Lufttemperatur über 35° liegt, aber auch bei Temperaturen, die einige Grade unter der Grenze liegen, dauert besonders bei niedriger Windgeschwindigkeit die Einstellung so lange, daß dadurch die Messungen sehr erschwert werden. In solchen Fällen muß man sich, wenn man überhaupt das Katathermometer in seiner jetzigen Ausgestaltung verwenden will, unbedingt des feuchten Instrumentes bedienen, das sich viel schneller abkühlt. Zweckmäßiger ist es aber wohl, in solchen Fällen Instrumente mit höherer Anfangstemperatur zu verwenden, also etwa eine Abkühlung von 45 auf 42 vor sich gehen zu lassen. Der von einigen Seiten gemachte Einwand, daß man sich dann von der Oberflächentemperatur des Körpers entferne, ist meines Erachtens nicht stichhaltig, da auch unter gewöhnlichen Umständen die Temperatur der Körperoberfläche so stark wechselt, daß von einer Übereinstimmung mit der Oberflächentemperatur des Katathermometers doch keine Rede sein kann, und da zweitens gerade an so warmen Arbeitsstellen auch die Oberflächentemperatur des Körpers erhöht ist.

Die Ergebnisse der Arbeit möchte ich in folgenden Sätzen kurz zusammenfassen:

Für die Beurteilung der klimatischen Verhältnisse der von mir untersuchten Kaligruben hat sich das Katathermometer und zwar das trockene — als brauchbar erwiesen. Jedenfalls gibt die Beurteilung nach den Katawerten sicherere Übereinstimmung mit dem Befinden der Arbeiter, als die alleinige Berücksichtigung der Temperatur. Als Grenzwert kann etwa die Katazahl 2,5 angesehen werden. Allerdings gilt das nur unter den von mir untersuchten Bedingungen — Temperaturen bis höchstens 33°, meistens

geringe Windgeschwindigkeit, relative Feuchtigkeit selten über 60%. Für extreme Verhältnisse sind besondere Untersuchungen und Überlegungen notwendig. Das feuchte Katathermometer hat sich im allgemeinen als weniger sicher erwiesen; doch ist zu erwarten, daß bei hoher relativer Feuchtigkeit, besonders, wenn sie mit geringer Luftbewegung kombiniert ist, die feuchten Werte bessere Beurteilung ermöglichen, als die trockenen.

Benutzte Literatur:

Flügge: Untersuchungen über Luftverunreinigung, Wärmestauung und Lüftung in geschlossenen Räumen (Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten 1905).

Herbst: Über die Wärme in tiefen Gruben und ihre Bekämpfung (Glückauf 1920).

Heymann-Korff-Petersen: Verhalten des Menschen unter verschiedenen thermischen Bedingungen.

Heymann: Über den Einfluß des Windes auf die Wärmeabgabe toter Objekte (Zeitschrift für Hygiene 1904).

Hill: The kata-thermometer in studies of body heat and effeciency; Medical research council, Special report series No. 73.

Liefmann und Klostermann: Untersuchungen über den Einfluß höherer Wärmegrade auf den Gesundheitszustand der Bergleute in Kalibergwerken (Zeitschrift für Hygiene 1908).

Reichenbach-Heymann: Untersuchung über die Wirkung klimatischer Faktoren auf den Menschen; I. Beziehungen zwischen Haut- und Lufttemperatur. II. Beeinflussung der Körperwärme durch Arbeit und Beschränkung der Wärmeabgabe (Zeitschrift für Hygiene 1907, Band 57).

Reichenbach: Über einen Apparat zur Registrierung des Wärmeverlustes durch die Witterung (Zeitschrift für Hygiene und Infektionskrankheiten 1922, Bd. 98).

Rosenthal: Grubenklima in tiefen Kalibergwerken und seine Einwirkung auf die Bergleute (Zeitschrift für Gygiene 1910, Bd. 65).

Rosenthal: Das Katathermometer und seine Anwendung (Zentralblatt für Gewerbehygiene und Unfallverhütung, Band 2, Heft 5 und 6).

Wiegand: Zur Frage des Einflusses hoher Temperaturen in Kaligruben auf die Gesundheit (Kali 1922).

Winkhaus: Bekämpfung hoher Temperaturen in tiefen Steinkohlengruben (Glückauf 1922).

Winkhaus: Gesundheitliche Einwirkung hoher Wettertemperaturen (Glückauf 1924).

Winkhaus: Die Regelung der Arbeitszeit an heißen Betriebspunkten unter Tage (Zeitschrift für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen, 1925, Band 73).

Lebenslauf.

Ich wurde am 23. August 1903 in Schoningen (Kreis Uslar) geboren, besuchte von 1916–1922 das Gymnasium zu Hann. Münden, wo ich Ostern 1922 die Reifeprüfung ablegte.

Bis zum Physikum am Ende des Sommersemesters 1924 studierte ich in Göttingen, wechselte in den klinischen Semestern mehrfach, kam dann nach Göttingen wieder zurück und machte Ostern 1927 mein Staatsexamen. Ich war dann längere Zeit an der Universitätsnervenklinik in Göttingen als Medizinalpraktikant tätig, und war dann 4 Monate an der Inneren Abteilung des Städtischen Krankenhauses Stuttgart-Cannstadt.

Meine Approbation bekam ich am 1. November 1928. Vom 1. Februar 1929 bis 1. April 1930 war ich Assistent an der Universitätsnervenklinik Göttingen, vom 1. April 1930 bis 1. März 1931 Assistent an der Universitäts-Kinderklinik in Rostock, und bin seit dem 1. März 1931 an der Universitäts-Kinderklinik Jena.